

PCT

WELTORGANISATION FÜR GEISTIGES EIGENTUM

Internationales Büro

INTERNATIONALE ANMELDUNG VERÖFFENTLICH NACH DEM VERTRAG ÜBER DIE
INTERNATIONALE ZUSAMMENARBEIT AUF DEM GEBIET DES PATENTWESENS (PCT)



(51) Internationale Patentklassifikation 7 :
H04L 25/03, G10L 21/02, H03H 21/00

A1

(11) Internationale Veröffentlichungsnummer: **WO 00/25489**

(43) Internationales
Veröffentlichungsdatum:

4. Mai 2000 (04.05.00)

(21) Internationales Aktenzeichen: **PCT/DE99/03304**

(22) Internationales Anmeldedatum: 14. Oktober 1999 (14.10.99)

(30) Prioritätsdaten:
198 49 549.8 27. Oktober 1998 (27.10.98) DE

(71) Anmelder (*für alle Bestimmungsstaaten ausser US*): SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT [DE/DE]; Wittelsbacherplatz 2, D-80333 München (DE).

(72) Erfinder; und
(75) Erfinder/Anmelder (*nur für US*): OBRADOVIC, Dragan [IT/DE]; Franziskanerstrasse 28, D-81669 München (DE).

(74) Gemeinsamer Vertreter: SIEMENS AKTIENGESELLSCHAFT; Postfach 22 16 34, D-80506 München (DE).

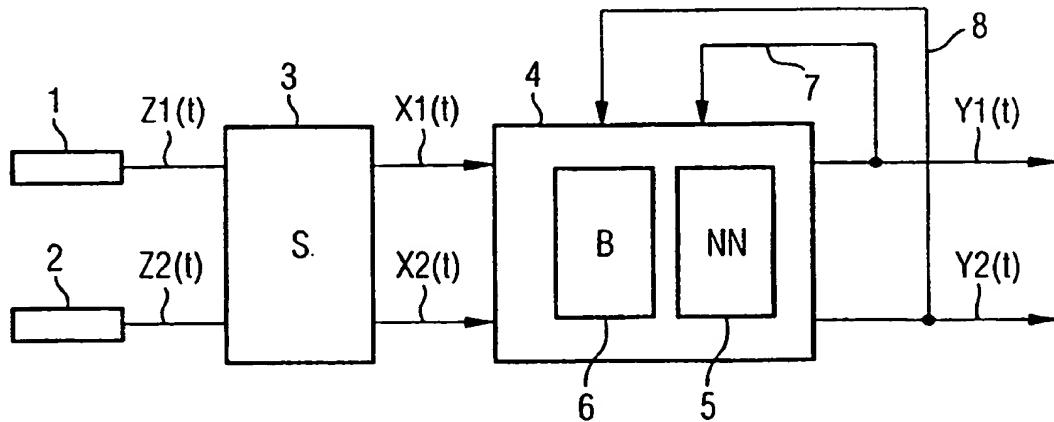
(81) Bestimmungsstaaten: JP, US, europäisches Patent (AT, BE, CH, CY, DE, DK, ES, FI, FR, GB, GR, IE, IT, LU, MC, NL, PT, SE).

Veröffentlicht

*Mit internationalem Recherchenbericht.
Vor Ablauf der für Änderungen der Ansprüche zugelassenen
Frist; Veröffentlichung wird wiederholt falls Änderungen
eintreffen.*

(54) Title: SIGNAL SEPARATION METHOD AND DEVICE FOR NON-LINEAR MIXING OF UNKNOWN SIGNALS

(54) Bezeichnung: SIGNALTRENNUNGSVERFAHREN UND -ANORDNUNG FÜR NICHTLINEARE MISCHUNGEN UNBEKANNTER SIGHALE



(57) Abstract

Parameters of a technical system are determined, wherein output signals consisting of a plurality of superimposed, statistically independent input signals can be detected. Parameters are detected in such a way that the statistical dependence of output signals is maximized.

(57) Zusammenfassung

Es werden Parameter eines technischen Systems, mit dem Ausgangssignale aus einer Menge überlagerter, statistisch voneinander unabhängiger Eingangssignale ermittelt werden können, bestimmt. Die Parameter werden derart ermittelt, daß die statistische Unabhängigkeit der Ausgangssignale maximiert wird.

LEDIGLICH ZUR INFORMATION

Codes zur Identifizierung von PCT-Vertragsstaaten auf den Kopfbögen der Schriften, die internationale Anmeldungen gemäss dem PCT veröffentlichen.

AL	Albanien	ES	Spanien	LS	Lesotho	SI	Slowenien
AM	Armenien	FI	Finnland	LT	Litauen	SK	Slowakei
AT	Österreich	FR	Frankreich	LU	Luxemburg	SN	Senegal
AU	Australien	GA	Gabun	LV	Lettland	SZ	Swasiland
AZ	Aserbaidschan	GB	Vereinigtes Königreich	MC	Monaco	TD	Tschad
BA	Bosnien-Herzegowina	GE	Georgien	MD	Republik Moldau	TG	Togo
BB	Barbados	GH	Ghana	MG	Madagaskar	TJ	Tadschikistan
BE	Belgien	GN	Guinea	MK	Die ehemalige jugoslawische Republik Mazedonien	TM	Turkmenistan
BF	Burkina Faso	GR	Griechenland	ML	Mali	TR	Türkei
BG	Bulgarien	HU	Ungarn	MN	Mongolei	TT	Trinidad und Tobago
BJ	Benin	IE	Irland	MR	Mauretanien	UA	Ukraine
BR	Brasiliens	IL	Israel	MW	Malawi	UG	Uganda
BY	Belarus	IS	Island	MX	Mexiko	US	Vereinigte Staaten von Amerika
CA	Kanada	IT	Italien	NE	Niger	UZ	Usbekistan
CF	Zentralafrikanische Republik	JP	Japan	NL	Niederlande	VN	Vietnam
CG	Kongo	KE	Kenia	NO	Norwegen	YU	Jugoslawien
CH	Schweiz	KG	Kirgisistan	NZ	Neuseeland	ZW	Zimbabwe
CI	Côte d'Ivoire	KP	Demokratische Volksrepublik Korea	PL	Polen		
CM	Kamerun	KR	Republik Korea	PT	Portugal		
CN	China	KZ	Kasachstan	RO	Rumänien		
CU	Kuba	LC	St. Lucia	RU	Russische Föderation		
CZ	Tschechische Republik	LI	Liechtenstein	SD	Sudan		
DE	Deutschland	LK	Sri Lanka	SE	Schweden		
DK	Dänemark	LR	Liberia	SG	Singapur		
EE	Estland						

Beschreibung**SIGNALTRENNUNGSVERFAHREN UND -ANORDNUNG FÜR NICHTLINEARE MISCHUNGEN UNBEKANNTER SIGNALE**

Die Erfindung betrifft ein Verfahren sowie einer Anordnung zur Ermittlung von Parametern eines technischen Systems

Bei einer Vielkanal-Übertragung und einem Vielkanal-Empfang von Signalen tritt häufig eine Interferenz beispielsweise zwischen den Signalen/Bildern auf. Ein typisches Beispiel ist dabei eine Mischung eines Sprachsignals mit Rauschen, was bei der Telekommunikation und bei Videokonferenzen ein großes Problem darstellen kann. Die vorliegende Erfindung betrifft daher das Gebiet der Signaltrennung, um beispielsweise ein ursprüngliches Sprachsignal wiederzugewinnen.

Typische bekannte Techniken zur Trennung der Quellensignale ausgehend von Mischsignalen basieren auf einer zeitlichen Mittelung oder einer Filterung der Signale. Dies hat indessen Nachteile bezüglich des Rechenaufwands zur Folge.

Es sind auch Verfahren auf der Grundlage der sogenannten Blind Channel Equalization (Signalentzerrung ohne Vorkenntnisse über den Übertragungskanal) bekannt, aber diese Verfahren benötigen immer eine gewisse Kenntnis über die Quellsignale, wie beispielsweise eine Kenntnis über ihre statistische Verteilung.

Das Problem der Signaltrennung tritt beispielsweise auch auf, wenn zwei Sprecher in zwei entfernt von ihnen stehende Mikrofone sprechen, so daß jedes Mikrofon ein Gemisch der von den zwei Sprechern gesprochenen Signale aufnimmt. Somit besteht das Problem, das Signalgemisch, also eine Menge überlagerter Eingangssignale wieder zu trennen. Aus L.Molgedey, H.G. Schuster, „Separation of a Mixture of Independent Signals using Time-Delayed Correlations“, Phys. Ref. Lett. 72, 3634 (1994) ist dabei das folgende Verfahren bekannt: Das Problem, n

überlagerte und korrelierte Quellensignale (Eingangssignale) zu trennen und gleichzeitige die Mischungskoeffizienten der Quellenstärken zu bestimmen, läßt sich auf ein Eigenwertproblem reduzieren, bei dem simultan zwei symmetrische $n \times n$ Matrizen diagonalisiert werden müssen. Die Matrixelemente sind meßbare zeitverzögerte Korrelationsfunktionen. Die Lösung des Eigenwertproblems kann durch ein neuronales Netz erfolgen, wobei die Lernregel für die lateralen inhibitorischen Wechselwirkungen zwischen den Neuronen durch eine Liapunov-Funktion bestimmt werden kann, deren Minima die (entarteten) Lösungen des Problems liefern.

Dieses Verfahren wurde auch bereits auf akustische Eingangssignale angewandt (siehe F. Ehlers, H. G. Schuster, „Blind Separation of convolutive mixtures and an application in automatic speech recognition“ IEEE Trans. Signal Proc. (1997)).

Aus der DE 195 31 388 C1 ist ein Signaltrennungsverfahren und eine Signaltrennungseinrichtung für nichtlineare Mischungen unbekannter Signale (Blind Channel) bekannt, das schematisch in Fig. 3 dargestellt ist.

Dieses deutsche Patent behandelt die Separierung eines Signalgemisches, bestehend aus der nichtlinearen Überlagerung von M unbekannten Quellsignalen X_1, X_2 , wobei N ($N \geq M$) unterschiedliche Mischungen der M Quellsignale X_1, X_2 inklusive eines eventuellen Störsignals einer Signalauswerteeinrichtung zugeführt werden, die durch eine statistische Analyse der Signale die nichtlinearen Übertragungsfaktoren bestimmt und mit diesen errechneten Faktoren die Mischung rückgängig macht, so daß die N Ausgänge der Signaltrennungseinrichtung möglichst näherungsweise die M Quellsignale ohne Überlagerungen enthalten. Dadurch wird eine Behandlung nichtlinearer Gemische möglich, wobei nichtlinear bedeutet, daß die Quellsignale X_1, X_2 durch ein unbekanntes nichtlineares System G gemischt werden. Das unbekannte System G wird durch eine sogenannte Volterra-Reihe beschrieben, und die Signaltrennungseinrichtung $G-1$ bestimmt die Koeffizienten der Volterra-Reihe. Mit deren

Kenntnis ist eine Entmischung des Signalgemisches möglich. Außerdem können die Koeffizienten zu weiteren Analysen zur Orts- oder Geschwindigkeitsbestimmung der Signalquellen benutzt werden.

Das aus dieser Druckschrift bekannte Verfahren besteht dabei im wesentlichen aus zwei Schritten:

- Erstens werden die durch den wählbaren Grad der Nichtlinearität bei der Mischung eindeutig bestimmten nichtlinearen Gleichungen für ein gleitendes Zeitfenster gelöst und die Lösungen werden über die Zeit gemittelt. Diese zeitliche Mittelung stellt einen Hauptnachteil dieser bekannten Technik dar, da sie den Rechenaufwand und gleichzeitig die Zeitdauer für die Berechnung erhöht.
- Zweitens wird aus einer genügend großen Anzahl von unterschiedlichen Kumulanten der geschätzten Ausgangssignale gebildetes Potential minimiert, wobei die zur Berechnung des Potentials nötigen Werte aus einem gleitenden Zeitfenster einer wählbaren Länge stammen. Dabei ist vorausgesetzt, daß sich das Mischungssystem so langsam ändert, daß diese Änderung bei der Berechnung der gesuchten Mischungsfaktoren vernachlässigt werden kann. Gemäß diesem deutschen Patent wird zur Ausführung des zweiten genannten Schrittes eine Kostenfunktion konstruiert, die minimiert wird. Wenn das globale Minimum erreicht ist, hat man die optimalen Werte, in diesem Fall der Übertragungsfaktoren, gefunden.

Hinsichtlich des zeitlichen Aufwands sowie des Rechenaufwands ist das in der DE 195 31 388 C1 beschriebene Verfahren aufgrund der Ausführung einer zeitlichen Mittelung am Abschluß des ersten, oben genannten Verfahrensschrittes nachteilig.

Die vorliegende Erfindung hat daher zur Aufgabe, ein Verfahren und eine Anordnung bereitzustellen, die die Trennung überlagerter, statistisch voneinander unabhängiger akustischer Signale mit verringertem Rechenaufwand ermöglicht.

Diese Aufgabe wird durch das Verfahren sowie durch die Anordnung mit den Merkmalen gemäß den unabhängigen Ansprüchen gelöst.

Bei einem Verfahren zur Ermittlung von Parametern eines technischen Systems, mit dem Ausgangssignale aus einer Menge überlagerter, statistisch voneinander unabhängiger Eingangssignale ermittelt werden können, werden die Parameter derart ermittelt, daß die statistische Unabhängigkeit der Ausgangssignale maximiert wird.

Eine Anordnung zur Ermittlung von Parametern eines technischen Systems, mit dem Ausgangssignale aus einer Menge überlagerter, statistisch voneinander unabhängiger Eingangssignale ermittelt werden können, weist einen Prozessor auf, der derart eingerichtet ist, daß die Parameter derart ermittelt werden können, daß die statistische Unabhängigkeit der Ausgangssignale maximiert wird.

Vorteilhafte Weiterbildungen der Erfindung ergeben sich aus den abhängigen Ansprüchen.

Die Parameter werden bevorzugt in einem iterativen Verfahren ermittelt.

In einer weiteren Ausgestaltung sind die Parameter Elemente einer Entmischmatrix, mit der die Menge der überlagerten Eingangssignale multipliziert oder auch gefaltet wird, wodurch die Ausgangssignale gebildet werden.

Die Optimierung der Parameter der Entmischmatrix wird bevorzugt durch die folgenden Schritte erhalten:

- Wiederholung einer zeitverzögerten Dekorrelationsberechnung zur Ermittlung der Eigenwerte der Entmischmatrix,

- Ermittlung der Eigenwerte der Entmischmatrix, für die Kreuzkorrelationen einen minimalen Wert annehmen, und
- Ausführung einer Kumulantenminimierung, wobei als Startwerte für die Kumulantenminimierung die im vorherigen Schritt ermittelten Eigenwerte verwendet werden.

Die Kumulantenminimierung kann beispielsweise durch Trainieren eines neuronalen Netzes, aber auch jegliche andere bekannte Minimierungstechnik, wie beispielsweise Gradientenabstieg oder Monte-Carlo-Simulationen verwendet werden.

In einer Weiterbildung wird bei der Optimierung der Parameter der Entmischmatrix wenigstens ein Diagonalparameter der Entmischmatrix auf einen vorgegebenen Wert gesetzt, womit , um eine Stabilität des Minimierungsvorgangs hin zu einem globalen Minimum zu gewährleisten.

Die Entmischmatrix wird bevorzugt auf eine finite Impulsantwort begrenzt, d.h. es wird ein FIR-Filter (Finite Impulse Response) eingesetzt zur Bildung der einzelnen Komponenten der Entmischmatrix. Der FIR-Filter kann sowohl ein kausales FIR-Filter oder auch ein nicht-kausales FIR-Filter sein.

Ferner wird die Entmischmatrix während der Kumulantenminimierung bevorzugt durch Projektion in einen Einheitskreis stabilisiert.

Die Weiterbildungen gelten sowohl für das Verfahren als auch für die Anordnung, wobei bei der Anordnung jeweils der Prozessor derart eingerichtet ist, daß der entsprechende Verfahrensschritt durchführbar ist oder durchgeführt wird.

Die Erfindung sowie deren Weiterbildungen können vorteilhaft eingesetzt werden zur Trennung überlagerter, statistisch voneinander unabhängiger Eingangssignale, insbesondere akustischer Eingangssignale.

Das Verfahren sowie die Anordnung sind für eine beliebige Anzahl von Eingangssignalen anwendbar.

Weitere Vorteile, Merkmale und Eigenschaften der vorliegenden Erfindung werden nunmehr bezugnehmend auf die beiliegenden Figuren der Zeichnungen anhand eines Ausführungsbeispiels näher erläutert.

Fig. 1 zeigt die Anwendung eines Systems zur Trennung überlagerter, statistisch voneinander unabhängiger akustischer Signale gemäß dem Ausführungsbeispiel,

Fig. 2 zeigt eine symbolische Darstellung des Systems von Fig. 1, und

Fig. 3 zeigt eine aus dem Stand der Technik (DE 195 31 388 C1) bekannte Signaltrennungseinrichtung für nichtlineare Mischungen unbekannter Signale.

Zur Wiedergewinnung des ursprünglichen Sprachsignals wird aus einer Mischung von Signalen die statistische Unabhängigkeit zwischen den Quellsignalen (ursprüngliches Sprachsignal und Rauschen), im weiteren auch als Eingangssignale bezeichnet, ausgenutzt und der inverse Vorgang des dynamischen Systems, der die Mischung der Signale ergeben hat, wird im wesentlichen näherungsweise trainiert (gelernt). Zwei verschiedene Mischungen des Sprachsignals bzw. des Rauschsignals werden beispielsweise durch zwei Mikrofone 1, 2 (vgl. **Fig.1**) erhalten, die voneinander beabstandet sind und/oder in entgegengesetzten Richtungen ausgerichtet sind. Bei dem Verfahren wird die sogenannte zeitverzögerte Dekorrelationstechnik (TDD, time delayed decorrelation) verwendet, um die Lernphase zu initiieren, d.h. um Startwerte für die Lernphase zu ermitteln und vorzugeben, wodurch der Berechnungsaufwand für eine im weiteren beschriebenen Kumulantenminimierung verringert werden kann und die Gefahr lokaler Minima verringert werden kann.

Fig.1 zeigt zwei Mikrofone 1, 2, die ein erstes Eingangssignal $Z_1(t)$ und ein zweites Eingangssignal $Z_2(t)$ aufnehmen. Diese Eingangssignale $Z_1(t)$ und $Z_2(t)$ können untereinander wiederum jeweils mit Rauschen vermischt sein, was durch eine Mischmatrix S (siehe Bezugszeichen 3) symbolisch in **Fig.1** dargestellt ist. Nach dem Empfang bzw. der Übertragung wird eine Menge $X_1(t)$ und $X_2(t)$ überlagerter, statistisch voneinander unabhängiger Eingangssignale $Z_1(t)$ und $Z_2(t)$ erhalten. Diese Signale werden in eine Berechnungseinheit 4 eingegeben, in der im wesentlichen zwei Schritte ausgeführt werden, die symbolisch durch eine Berechnungseinheit B (Bezugszeichen 6) für den ersten Schritt sowie ein neuronales Netzwerk 5 für den zweiten Schritt dargestellt ist.

Durch die Berechnungseinheit 4 werden zwei Ausgangssignale $Y_1(t)$ bzw. $Y_2(t)$ ermittelt, die bei optimaler Einstellung der Parameter in der Berechnungseinheit 4 näherungsweise gleich den Eingangssignalen $Z_1(t)$ bzw. $Z_2(t)$ sind. Mit anderen Worten, bei optimaler Einstellung der Parameter der verwendeten Matrizen in der Berechnungseinheit 4 erfolgt durch diese Berechnungseinheit 4 im wesentlichen der inverse Vorgang zu dem dynamischen Mischvorgang, der durch die Matrix S (Bezugszeichen 3) symbolisch dargestellt ist. Das Ausführungsbeispiel beschäftigt sich mit dem Optimierungsvorgang der Einstellung der Parameter der Entmischmatrix.

Es werden die Parameter der Matrizen in der Berechnungseinheit 4 derart optimiert, daß die statistische Unabhängigkeit zwischen den durch den Matrizenvorgang in der Berechnungseinheit 4 gewonnenen Ausgangssignalen $Y_1(t)$, $Y_2(t)$ maximiert wird. Zu diesem Zweck werden die Ausgangssignale $Y_1(t)$ bzw. $Y_2(t)$ zu der Berechnungseinheit 4 zurückgeführt (s. Rückföhrschleifen 7 bzw. 8). Durch ein iteratives Verfahren wird ermittelt, ob sich die statistische Unabhängigkeit der Ausgangssignale $Y_1(t)$ bzw. $Y_2(t)$ im Vergleich zu dem vorherigen Schritt der Iteration erhöht hat (und somit die Iteration die „richtige“ Richtung in Richtung des globalen Minimums einer im weiteren beschriebenen Kostenfunktion einnimmt) oder nicht.

Fig.2 zeigt eine mathematische Darstellung des Schemas von **Fig.1**, wobei der Mischvorgang 3 durch eine Matrix $S(q)$ mathematisch beschrieben werden kann und der Entmischvorgang, der durch die Berechnungseinheit 4 erfolgen soll, durch eine Entmischmatrix $M(q)$ symbolisiert wird.

In **Fig.2** ist somit das Problem der Trennung einer sogenannten Multi-Channel Blind Source (Vielfach-Kanal-Quelle ohne a-priori-Kenntnis) in zwei Dimensionen dargestellt. Dabei ist angenommen, daß das Mischsystem $S(q)$, wobei q für eine Einheitsverzögerung steht, stabil ist und gleichzeitig auch eine stabile Invertierung aufweist, d.h. daß es ein Minimalphasensystem ist. Darüber hinaus ist angenommen, daß die Eingangssignale $Z_1(t)$ und $Z_2(t)$ (beispielsweise ein Sprach- bzw. ein Rauschsignal) statistisch voneinander unabhängig sind und nicht gaussförmig verteilt sind. Die Menge $X_1(t)$ und $X_2(t)$ der überlagerten Eingangssignale $Z_1(t)$ und $Z_2(t)$ sind Eingangssignale in ein Entmischsystem mit einer Entmischmatrix $M(q)$, deren Parameter (Matrixelemente) auf eine Maximierung der statistischen Unabhängigkeit zwischen den Ausgangssignalen $Y_1(t)$ und $Y_2(t)$ trainiert werden. Unter „Trainieren“ ist dabei der gut bekannte Lernvorgang beispielsweise eines neuronalen Netzes bekannt, das als ein Beispiel für eine Technik genannt sein soll, die statistische Unabhängigkeit zu maximieren. Dies erfolgt durch Minimierung einer im weiteren beschriebenen Kostenfunktion $J(M)$.

Es wird eine Kumulant-Kostenfunktion gebildet, die die Diagonalkumulantenelementen der Kumulantenordnung 2 - 4 minimiert:

$$D_{cum} \approx J(M) = \sum_{i=1}^4 \sum_{\text{nondiag}} [c^{(i)}_{\text{nondiag}}]^2$$

Folgende Gesichtspunkte der dynamischen Mischung durch die Mischmatrix $S(q)$ sind dabei zu berücksichtigen:

- Stabilität des Entmischsystems:
Dies wird erreicht, wenn $M(q)$ auf eine finite Impulsantwort (FIR-Filter) beschränkt wird. Die Stabilität des FIR-Systems $M(q)$ kann darüber hinaus auch dadurch erhalten werden, daß während der Lernphase eine Projektion in den Einheitskreis erfolgt. Eine möglicherweise vorliegende Nichtkausalität der Invertierung von $S(q)$ kann durch eine geeignete Zeitverschiebung (Verzögerung) des Eingangssignals $X(t)$ kompensiert werden.
- Eindeutigkeit der getrennten Signale $Y(t)$:
Für den Fall statischer Mischungen werden die ursprünglichen Quellsignale durch eine Skalierung wiedergewonnen. Für den Fall einer dynamischen Entmischung ist die Gefahr einer Nichteindeutigkeit der getrennten Signale $Y(t)$ sogar noch größer. Es ist offensichtlich, daß für den Fall, daß $Y_1(t)$ und $Y_2(t)$ statistisch voneinander unabhängig sind, auch jegliche linear gefilterte Modifikation dieser Signale immer noch statistisch unabhängig sind. Daher ist eine zusätzliche Information notwendig, um die inhärente Nichteindeutigkeit des Problems zu verringern.
- Gaussverformung der Daten:
Algorithmen auf Kumulantbasis für eine statische Blind Source-Trennung minimieren bzw. eliminieren in effektiver Weise Diagonalkumulanten höherer Ordnung entsprechend den Ausgangssignalen $Y(t)$. Andererseits führt eine lineare Filterung zu einer Gaussverteilungs-Verformung der Daten, bei denen die Kumulanten höherer Ordnung in Richtung 0 gehen. Dies kann daher zu Randlösungen führen, in denen die Kostenfunktion ein lokales Minimum erreicht, wobei die erwünschte eigentliche Trennung (globales Minimum) nicht erfolgt. Um diesen ungewünschten Fall zu vermeiden, wird die Struktur der Entmisch-Transferfunktion ($Entmischmatrix$) $M(q)$ einigen Beschränkungen unterworfen.

Um die obengenannten Probleme zu umgehen, wird ein Ansatz gewählt, daß wenigstens eines (oder auch alle) der Diagonalelemente auf den Einheitswert gesetzt werden:

$$M_{11}(q) = 1$$

und

$$M_{22}(q) = 1.$$

Diese Annahme ist exakt, wenn die Mischelemente $S_{11}(q)$ und/oder $S_{22}(q)$ ebenfalls einen Einheitswert „1“ aufweisen. Sonst sei angenommen, daß $S_{11}(q)$ und/oder $S_{22}(q)$ stabile Invertierungen aufweisen, was die Skalierung der Diagonalelemente von $M(q)$ auf den Einheitswert erlaubt. Dieser Ansatz verringert wesentlich die Nichteindeutigkeit einer Lösung und vermeidet darüber hinaus in effektiver Weise die Gefahr einer übermäßigen Gaussverteilungs-Verformung der Ausgangssignale. Auch wenn auf den ersten Blick die Beschränkung der Diagonalelemente von $M(q)$, wie oben ausgeführt, sehr restriktiv wirkt, ist diese Annahme in der praktischen Anwendung in der Regel erfüllt. Ein typisches Beispiel ist die Entrauschung von Sprachsignalen auf der Grundlage einer Aufzeichnung mit zwei Mikrofonen, wobei die Mikrofone voneinander räumlich getrennt sind oder ein Mikrofon in Richtung des Sprechers gerichtet ist, während das andere Mikrofon in der umgekehrten Richtung gerichtet ist, so daß das zweite, von dem Sprecher abgewandte Signal im wesentlichen nur ein Rauschsignal aufnimmt.

Der Kumulantenansatz basiert auf einer direkten Ermittlung der Diagonalkumantanten, wie sie in dem eingangs genannten Artikel von F. Ehlers und H. Schuster, „Blind Separation of convolutive mixtures and an application in automatic speech recognition“ IEEE Trans. Signal Proc. (1997), ausgeführt ist, was aber inhärent den Nachteil aufweist, daß die numerische Lösung sehr aufwendig ist. Daher wird eine geeignete Initialisierung dieses Minimierungsverfahrens verwendet. Um Startwerte für das

Minimierungsverfahren zu ermitteln, wird gemäß der vorliegenden Erfindung die Technik der zeitverzögerten Dekorrelation (TDD) zur gleichzeitigen Dekorrelierung zweier verschiedener Zeitverzögerungen angewendet, wobei diese TDD-Technik sich auf ein geeignetes Matrix-Eigenwertproblem zurückführen läßt. Wie bereits gesagt, wird diese TDD-Technik gemäß der vorliegenden Erfindung zur Initiierung des Diagonal(Kreuzkorrelations)-Kumulantenminimierungsproblems verwendet.

Zusammenfassend läßt sich das Verfahren in die folgenden beiden Schritte unterteilen:

1. Wiederholung des TDD-Verfahrens auf Grundlage des Eigenwertproblems im Frequenzbereich für verschiedene Verzögerungspaare und Ermittlung der Lösung, bei der die Kreuzkorrelationsterme einen minimalen Wert aufweisen.
2. Initiierung (Start) der Diagonal-Kumulantenminimierung auf Grundlage der im oben genannten Schritt ermittelten Startwerte (FIR-Parameter).

Im folgenden sollen noch einige Haupteigenschaften und Vorteile noch einmal zusammengefaßt werden:

- Es ist kein a-priori-Wissen der Signaleigenschaften notwendig, mit der Ausnahme, daß eine statistische Unabhängigkeit gefordert wird.
- Die Stabilität des dynamischen Entmischsystems wird durch die Modulierung seiner Komponenten als FIR-Filter gewährleistet.
- Eine übermäßige Gaussverteilung-Verformung wird durch den Ansatz vermieden, daß wenigstens eines der Elemente der Mischtransfer-Funktionsmatrix (Entmischmatrix) auf den Einheitswert gesetzt wird bzw. auf den Einheitswert skaliert werden kann, und

12

- da der Kumulanten-Minimierungsschritt (Schritt 2) einen hohen Rechenaufwand erfordert, wird der Lernalgorithmus beispielsweise eines neuronalen Netzes durch das TDD-Verfahren initialisiert.

Im weiteren ist ein Programm in Matlab, Version 4 oder Version angegeben, mit dem das oben beschriebene Ausführungsbeispiel auf einem Rechner realisiert werden kann:

```
function[cost,out1,out2]=cumulant_costFIRa2(par,input,p1,p11,
p2,p22,a3,a4);
· %[cost,out1,out2]=cumulant_costFIRa2(par,input,p1,p11,p2,p22,
a3,a4);
% cumulant cost
% FIR representation used
% filter function used in both directions (non_causal)

[np,mp]=size(par);
fir1=par(1:p1);
fir11=par(1+p1:p1+p11);
fir2=par(1+p1+p11:p1+p11+p2);
fir22=par(p1+p11+p2+1:mp);
den=1;                                %FIR only

out1=[input(:,1)-filter(fir1,den,input(:,2))-flipud(filter
([0 fir11 ],[den],flipud(input(:,2))));%
                                         %std(input(1,:));           %dlsim

%filter
out2=[input(:,2)-filter(fir2,den,input(:,1))-flipud(filter
([0 fir22 ],[den],flipud(input(:,1))));%std(input(:,2));
                                         %dlsim      %filter

out=[out1 out2];
%out1=out1/std(out1); % this scaling was not needed in examples
in SIP98 paper
%out2=out2/std(out2);

Ld=0;  % number of delays in calculating the cross-correlation
cost3=0;
cost4=0;
```

14

```
costALL1=[];
costALL2=[];
o12=out1.*out2;
cost2=mean(o12)^2;

o112=out1.*out1.*out2;
o122=out1.*out2.*out2;

if a3 ==1
    cost3=[mean(o122)]^2+[mean(o122)]^2;
end

if a4 ==1

    cost4=[mean(o112.*out1)-3*mean(out1.^2)*mean(o12)]^2+...
[mean((out1.^2).* (out2.^2))-2*mean(o12)^2-
mean(out1.^2)*mean(out2.^2)]^2+...
[mean(o122.*out2)-3*mean(out2.^2)*mean(o12)]^2;

end

%cum4a=[cum4x(out1,out1,out1,out1)]^2;
%cum4b=[cum4x(out2,out2,out2,out2)]^2;

cost=cost2+a3*cost3+a4*cost4;           %-cum4a-cum4b;
```

Patentansprüche

1. Verfahren zur Ermittlung von Parametern eines technischen Systems, mit dem Ausgangssignale aus einer Menge überlagerter, statistisch voneinander unabhängiger Eingangssignale ermittelt werden können, bei dem die Parameter derart ermittelt werden, daß die statistische Unabhängigkeit der Ausgangssignale maximiert wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, bei dem die Parameter in einem iterativen Verfahren ermittelt werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, bei dem die Parameter Elemente einer Entmischmatrix sind, mit der die Menge der überlagerten Eingangssignale multipliziert wird, wodurch die Ausgangssignale gebildet werden.
4. Verfahren nach Anspruch 3, bei dem die Optimierung der Parameter der Entmischmatrix durch die folgenden Schritte erhalten wird:
 - Wiederholung einer zeitverzögerten Dekorrelationsberechnung (6) zur Ermittlung der Eigenwerte der Entmischmatrix,
 - Ermittlung der Eigenwerte der Entmischmatrix, für die Kreuzkorrelationen einen minimalen Wert annehmen, und
 - Ausführung einer Kumulanteminimierung (5), wobei als Startwerte für die Kumulanteminimierung die im vorherigen Schritt ermittelten Eigenwerte verwendet werden.
5. Verfahren nach Anspruch 4, bei dem die Kumulanteminimierung durch Trainieren eines neuronalen Netzes (5) erfolgt.
6. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 5,

bei dem bei der Optimierung der Parameter der Entmischmatrix wenigstens ein Diagonalparameter der Entmischmatrix auf einen vorgegebenen Wert gesetzt wird.

7. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 6,
bei dem die Entmischmatrix auf eine finite Impulsantwort begrenzt wird.

8. Verfahren nach einem der Ansprüche 3 bis 7,
bei dem die Entmischmatrix während der Kumulantenminimierung (5) durch Projektion in einen Einheitskreis stabilisiert wird.

9. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, eingesetzt zur Trennung überlagerter, statistisch voneinander unabhängiger Eingangssignale.

10. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 8, eingesetzt zur Trennung überlagerter, statistisch voneinander unabhängiger akustischer Eingangssignale.

11. Anordnung zur Ermittlung von Parametern eines technischen Systems, mit dem Ausgangssignale aus einer Menge überlagerter, statistisch voneinander unabhängiger Eingangssignale ermittelt werden können, mit einem Prozessor, der derart eingerichtet ist, daß die Parameter derart ermittelt werden können, daß die statistische Unabhängigkeit der Ausgangssignale maximiert wird.

12. Anordnung nach Anspruch 11,
bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß die Parameter in einem iterativen Verfahren ermittelt werden.

13. Anordnung nach Anspruch 11 oder 12,
bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß die Parameter Elemente einer Entmischmatrix sind, mit der die Menge der überlagerten Eingangssignale multipliziert wird, wodurch die Ausgangssignale gebildet werden.

14. Anordnung nach Anspruch 13,

bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß die Optimierung der Parameter der Entmischmatrix durch die folgenden Schritte erhalten wird:

- Wiederholung einer zeitverzögerten Dekorrelationsberechnung (6) zur Ermittlung der Eigenwerte der Entmischmatrix,
- Ermittlung der Eigenwerte der Entmischmatrix, für die Kreuzkorrelationen einen minimalen Wert annehmen, und
- Ausführung einer Kumulantenminimierung (5), wobei als Startwerte für die Kumulantenminimierung die im vorherigen Schritt ermittelten Eigenwerte verwendet werden.

15. Anordnung nach Anspruch 14,

bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß die Kumulantenminimierung durch Trainieren eines neuronalen Netzes (5) erfolgt.

16. Anordnung nach einem der Ansprüche 13 bis 15,

bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß bei der Optimierung der Parameter der Entmischmatrix wenigstens ein Diagonalparameter der Entmischmatrix auf einen vorgegebenen Wert gesetzt wird.

17. Anordnung nach einem der Ansprüche 13 bis 16,

bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß die Entmischmatrix auf eine finite Impulsantwort begrenzt wird.

18. Anordnung nach einem der Ansprüche 13 bis 17,

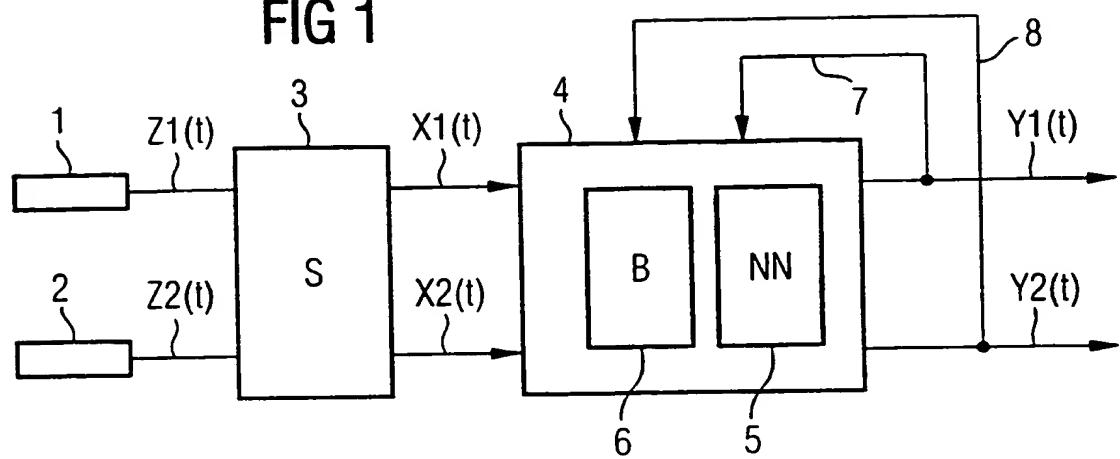
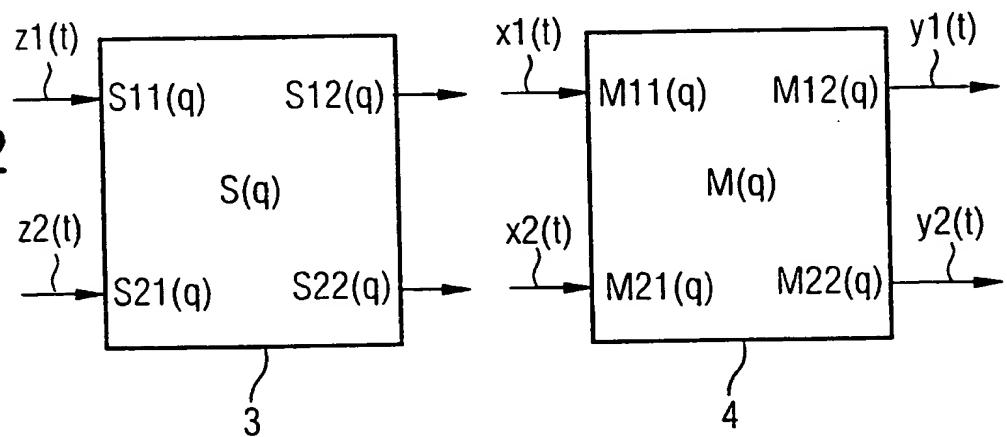
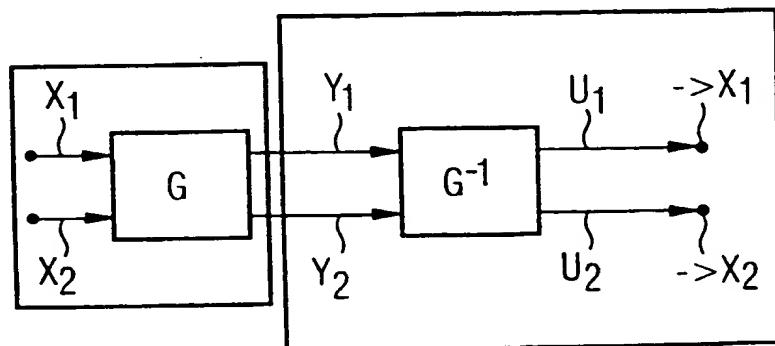
bei der der Prozessor derart eingerichtet ist, daß die Entmischmatrix während der Kumulantenminimierung (5) durch Projektion in einen Einheitskreis stabilisiert wird.

19. Anordnung nach einem der Ansprüche 11 bis 18, eingesetzt

zur Trennung überlagerter, statistisch voneinander unabhängiger Eingangssignale.

20. Anordnung nach einem der Ansprüche 11 bis 18, eingesetzt zur Trennung überlagerter, statistisch voneinander unabhängiger akustischer Eingangssignale.

1/1

FIG 1**FIG 2****FIG 3**

THIS PAGE BLANK (USPTO)

THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No
PCT/DE 99/03304

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER
IPC 7 H04L25/03 G10L21/02 H03H21/00

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

IPC 7 H04L G10L H03H

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practical, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	TE-WON LEE ET AL: "Combining time-delayed decorrelation and ICA: towards solving the cocktail party problem" PROCEEDINGS OF THE 1998 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, ICASSP '98 (CAT. NO.98CH36181), PROCEEDINGS OF THE 1998 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, SEATTLE, WA, USA, 12-1, pages 1249-1252 vol.2, XP002132701 1998, New York, NY, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-4428-6 abstract paragraph '0005! idem	1-3, 9-13, 19, 20
Y		4, 5, 14, 15
	—	-/-

Further documents are listed in the continuation of box C.

Patent family members are listed in annex.

* Special categories of cited documents :

- "A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance
- "E" earlier document but published on or after the international filing date
- "L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)
- "O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means
- "P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

- "T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention
- "X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone
- "Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art
- "&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search

10 March 2000

Date of mailing of the international search report

23/03/2000

Name and mailing address of the ISA

European Patent Office, P.B. 5818 Patentlaan 2
NL - 2280 HV Rijswijk
Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
Fax: (+31-70) 340-3016

Authorized officer

Krembel, L

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International Application No

PCT/DE 99/03304

C.(Continuation) DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category *	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	DE 195 31 388 C (EHLERS FRANK ; SCHUSTER HEINZ GEORG PROF DR (DE)) 25 July 1996 (1996-07-25) cited in the application page 6, line 59 -page 7, line 7	4,5,14, 15
P,X	OBRADOVIC D: "Dynamic signal mixtures and blind source separation" 1999 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING. PROCEEDINGS. ICASSP99 (CAT. NO.99CH36258), 1999 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING. PROCEEDINGS. ICASSP99, PHOENIX, AZ, USA, 15-19 , pages 1441-1444 vol.3, XP002132702 1999, Piscataway, NJ, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-5041-3 paragraph '0003!	1-20
A	INOUE Y ET AL: "Cumulant-based blind identification of linear multi-input-multi-output systems driven by colored inputs" IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, JUNE 1997, IEEE, USA, vol. 45, no. 6, pages 1543-1552, XP002132703 ISSN: 1053-587X paragraph 'IV.C1!	6,7,16, 17
A	US 5 282 154 A (KNUTSON PAUL G ET AL) 25 January 1994 (1994-01-25) column 1, line 65 -column 2, line 10	8,18

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

Information on patent family members

International Application No

PCT/DE 99/03304

Patent document cited in search report	Publication date	Patent family member(s)		Publication date
DE 19531388 C	25-07-1996	NONE		
US 5282154 A	25-01-1994	DE	4317869 A	02-12-1993
		GB	2267619 A,B	08-12-1993
		JP	6062282 A	04-03-1994

THIS PAGE BLANK (USPTO)

INTERNATIONALES RECHERCHENBERICHT

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/03304

A. KLASSEFIZIERTUNG DES ANMELDUNGSGEGENSTANDES
IPK 7 H04L25/03 G10L21/02 H03H21/00

Nach der Internationalen Patentklassifikation (IPK) oder nach der nationalen Klassifikation und der IPK

B. RECHERCHIERTE GEBiete

Recherchierte Mindestprästoff (Klassifikationssystem und Klassifikationssymbole)

IPK 7 H04L G10L H03H

Recherchierte aber nicht zum Mindestprästoff gehörende Veröffentlichungen, soweit diese unter die recherchierten Gebiete fallen

Während der Internationalen Recherche konsultierte elektronische Datenbank (Name der Datenbank und evtl. verwendete Suchbegriffe)

C. ALS WESENTLICH ANGESEHENDE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
X	TE-WON LEE ET AL: "Combining time-delayed decorrelation and ICA: towards solving the cocktail party problem" PROCEEDINGS OF THE 1998 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, ICASSP '98 (CAT. NO.98CH36181), PROCEEDINGS OF THE 1998 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH AND SIGNAL PROCESSING, SEATTLE, WA, USA, 12-1, Seiten 1249-1252 vol.2, XP002132701 1998, New York, NY, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-4428-6 Zusammenfassung Absatz '0005! idem	1-3, 9-13, 19, 20
Y	----- -----	4, 5, 14, 15



Weitere Veröffentlichungen sind der Fortsetzung von Feld C zu entnehmen



Siehe Anhang Patentfamilie

- * Besondere Kategorien von angegebenen Veröffentlichungen :
- "A" Veröffentlichung, die den allgemeinen Stand der Technik definiert, aber nicht als besonders bedeutsam anzusehen ist
- "E" älteres Dokument, das jedoch erst am oder nach dem Internationalen Anmeldeatum veröffentlicht worden ist
- "L" Veröffentlichung, die geeignet ist, einen Prioritätsanspruch zweifelhaft erscheinen zu lassen, oder durch die das Veröffentlichungsdatum einer anderen im Recherchenbericht genannten Veröffentlichung belegt werden soll oder die aus einem anderen besonderen Grund angegeben ist (wie ausgeführt)
- "O" Veröffentlichung, die sich auf eine mündliche Offenbarung, eine Benutzung, eine Ausstellung oder andere Maßnahmen bezieht
- "P" Veröffentlichung, die vor dem Internationalen Anmeldeatum, aber nach dem beanspruchten Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist
- "T" Spätere Veröffentlichung, die nach dem Internationalen Anmeldeatum oder dem Prioritätsdatum veröffentlicht worden ist und mit der Anmeldung nicht kollidiert, sondern nur zum Verständnis des der Erfindung zugrundeliegenden Prinzips oder der ihr zugrundeliegenden Theorie angegeben ist
- "X" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann allein aufgrund dieser Veröffentlichung nicht als neu oder auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden
- "Y" Veröffentlichung von besonderer Bedeutung; die beanspruchte Erfindung kann nicht alle auf erforderlicher Tätigkeit beruhend betrachtet werden, wenn die Veröffentlichung mit einer oder mehreren anderen Veröffentlichungen dieser Kategorie in Verbindung gebracht wird und diese Verbindung für einen Fachmann naheliegend ist
- "8" Veröffentlichung, die Mitglied derselben Patentfamilie ist

Datum des Abschlusses der Internationalen Recherche

Anmeldeatum des Internationalen Recherchenberichts

10. März 2000

23/03/2000

Name und Postanschrift der Internationalen Recherchenbehörde
 Europäisches Patentamt, P.B. 5818 Patenttaan 2
 NL - 2280 HV Rijswijk
 Tel. (+31-70) 340-2040, Tx. 31 651 epo nl,
 Fax. (+31-70) 340-3016

Bewillmächtigter Bediensteter

Krembel, L

INTERNATIONALER RECHERCHENBERICHT

In. Sonstige Albenzeichen

PCT/DE 99/03304

C.(Fortsetzung) ALS WESENTLICH ANGEBEHENE UNTERLAGEN

Kategorie*	Bezeichnung der Veröffentlichung, soweit erforderlich unter Angabe der in Betracht kommenden Teile	Betr. Anspruch Nr.
Y	DE 195 31 388 C (EHLERS FRANK ; SCHUSTER HEINZ GEORG PROF DR (DE)) 25. Juli 1996 (1996-07-25) in der Anmeldung erwähnt Seite 6, Zeile 59 -Seite 7, Zeile 7	4, 5, 14, 15
P, X	OBRADOVIC D: "Dynamic signal mixtures and blind source separation" 1999 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING. PROCEEDINGS. ICASSP99 (CAT. NO.99CH36258), 1999 IEEE INTERNATIONAL CONFERENCE ON ACOUSTICS, SPEECH, AND SIGNAL PROCESSING. PROCEEDINGS. ICASSP99, PHOENIX, AZ, USA, 15-19 , Seiten 1441-1444 vol.3, XP002132702 1999, Piscataway, NJ, USA, IEEE, USA ISBN: 0-7803-5041-3 Absatz '0003!	1-20
A	INOUE Y ET AL: "Cumulant-based blind identification of linear multi-input-multi-output systems driven by colored inputs" IEEE TRANSACTIONS ON SIGNAL PROCESSING, JUNE 1997, IEEE, USA, Bd. 45, Nr. 6, Seiten 1543-1552, XP002132703 ISSN: 1053-587X Absatz 'IV.C1!	6, 7, 16, 17
A	US 5 282 154 A (KNUTSON PAUL G ET AL) 25. Januar 1994 (1994-01-25) Spalte 1, Zeile 65 -Spalte 2, Zeile 10	8, 18

INTERNATIONALES RECHERCHENBERICHT

Angaben zu Veröffentlichungen, die zur selben Patentfamilie gehören

Internationales Aktenzeichen

PCT/DE 99/03304

Im Recherchenbericht angeführtes Patentdokument	Datum der Veröffentlichung	Mitglied(er) der Patentfamilie	Datum der Veröffentlichung
DE 19531388 C	25-07-1996	KEINE	
US 5282154 A	25-01-1994	DE 4317869 A GB 2267619 A,B JP 6062282 A	02-12-1993 08-12-1993 04-03-1994

THIS PAGE BLANK (USPTO)